

На правах рукописи

ГАФОРЗОДА СУЛАЙМОНИ МУСУЛМОН

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ
АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РУД ТАДЖИКИСТАНА
КИСЛОТНЫМИ И СПЕКАТЕЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ**

1.4.4- Физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата химических наук

Душанбе – 2025

Работа выполнена в лаборатории «Комплексная переработка минерального сырья и промышленных отходов» ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина» Национальной академии наук Таджикистана

**Научный
руководитель:**

доктор химических наук, профессор, академик Национальной академии наук Таджикистана, главный научный сотрудник лаборатории «Комплексная переработка минерального сырья и промышленных отходов» ГНУ «Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана» **Мирсаидов Ульмас**

**Официальные
оппоненты:**

Розиков Зафар Абдукахорович-доктор технических наук, профессор кафедры «Экология» Горно-металлургического института Таджикистана

Жумаев Маъруфджон Тагоймуротович-кандидат химических наук, доцент кафедры «Общая и неорганическая химия» Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни

Ведущая организация:

Таджикский технический университет им. академика М. Осими, кафедра «Общая и неорганическая химия».

Защита диссертации состоится: «05» мая 2025 года в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 73.1.002.03 при ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана по адресу: 734063, Республика Таджикистан г. Душанбе, ул. Айни 299/2. E-mail: dissovt@ikai.tj

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ГНУ «Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистан» www.chemistry.tj

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент

Норова М.Т

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Последние десятилетия сохраняется тенденция переработки местных нетрадиционных сырьевых ресурсов с получением важнейшего компонента для алюминиевого производства - глинозёма, в связи с тем, что запасы традиционного глинозёмного сырья заканчиваются и усилия исследователей в основном направляются на поиск новых видов сырья для нужд алюминиевой промышленности, поэтому спекательная и кислотная переработка нетрадиционных видов глинозёмного сырья представляет практический и теоретический интерес. Кроме того, использование местных сырьевых ресурсов позволит значительно снизить стоимость конечного продукта глинозёма.

Переработка местного сырья аргиллитовых руд, нефелин-сиенитового сырья, каолиновых глин в настоящее время приобретает актуальность, так как в составе этих местных сырьевых материалов содержания Al_2O_3 находятся на уровне примерно 20%, но методики и технологические процедуры разложения указанных материалов разработаны недостаточно или вообще не разработаны.

Данное исследование направлено на переработку аргиллитовых руд, нефелин-сиенитового сырья, каолиновых глин спекательными и кислотными способами, кислотные способы переработки выбраны исходя из соображений, что кислотные методы позволяют удалять кремнезём из технологических циклов селективно и на начальных стадиях технологии, при этом происходит экономия материальных потоков для каждой из технологических процедур.

Целью исследования является изучение процессов активации и разложения алюмосиликатных руд: нефелиновых сиенитов, каолиновых и зеленых глин кислотами и разработка спекательного способа разложения алюмосиликатной руды с применением $CaCl_2$, $NaOH$. Нахождение оптимальных параметров процессов спекания и разложения, исследование кинетических процессов и разработка технологических основ для рациональной переработки руд.

Задачи исследования:

-изучение химико-минералогического состава алюмосиликатных руд нефелиновых сиенитов, аргиллитов и каолиновых руд месторождений Таджикистана;

-термодинамическая оценка разложения алюмосиликатных руд кислотными методами.

-исследование процессов разложения глинозёмистого сырья Таджикистана, включая аргиллитовые руды, каолиновые и зелёные глины и нефелин-сиенитовое сырьё кислотными способами с использованием различных минеральных кислот, а также способами

спекания с реагентами-активаторами процесса- гидроксидом натрия ($NaOH$) и хлористым кальцием ($CaCl_2$);

-изучение физико-химической основы разложения глинозёмных материалов - аргиллитовых руд, нефелин-сиенитового сырья, каолинового сырья с использованием некоторых минеральных кислот;

-изучение кинетики процесса разложения руды кислотным методом и методом спекания с $CaCl_2$, $NaOH$ и обработкой спека кислотным способом;

-разработать обобщённые технологические процедуры и схемы для переработки алюмосиликатного сырья спекательным способом с активатором-реагентом $CaCl_2$, и дальнейшей водной и кислотной обработкой спеков;

Научная новизна работы.

Исследовано разложение алюмосиликатного сырья отдельными минеральными кислотами, их смесями и спеканием с реагентами $NaOH$ и $CaCl_2$, изучены механизмы при протекании процессов кислотной переработки и процессов

Изучены процессы переработки алюмосиликатных руд кислотным методом и спеканием, дано термодинамическая оценка процесса разложения, а также механизмы, протекающие при разложении и спекании с реагентами $NaOH$ и $CaCl_2$, достоверность которых подтверждается современными усовершенствованными методами анализа химические, ДТА, РФА. Разработаны обобщённые технологии по разложению глинозёмистого сырья способами спекания и кислотными способами.

Практическая значимость работы.

Результаты, которые получены в диссертационном исследовании, можно использовать при получении различных ценных соединений из алюмосиликатного сырья, для разработки технологий переработки алюмосиликатных руд, получения коагулянтов для очистки вод различной степени загрязнённости.

Основные положения, выносимые на защиту:

-результаты химических и минералогических исследований разложения глинозёмистого сырья Таджикистана, включая аргиллитовые руды, каолиновые и зелёные глины и нефелин-сиенитовое сырьё, а также разложения минералов, входящих в их состав, промежуточных соединений, получаемых при разложении и конечных продуктов на основании физико-химических методов;

-результаты термодинамической оценке процесса разложения алюмосиликатных руд кислотным методами;

-результаты разложения глинозёмистого сырья отдельными минеральными кислотами, а также разложения сырья способами

спекания с реагентами-активаторами процесса- гидроксидом натрия ($NaOH$) и хлористым кальцием ($CaCl_2$);

- наиболее приемлемые оптимальные параметры переработки глинозёмистого сырья отдельными кислотами, оптимальные параметры разложения глинозёмных материалов спекательным способом с активаторами-реагентами $NaOH$ и $CaCl_2$ при варьировании минеральных кислот, температуры, времени и реагентов-активаторов;

- результаты изучения кинетики разложения глинозёмных материалов кислотными и спекательными способами;

Публикации. По теме диссертации опубликованы 22 работ, в том числе 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации, и в 13 материалах международных и республиканских конференций, а также получено 2 малых патентов Республики Таджикистан.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Респуб. научн.-практ. конф. «Проблемы материаловедения в Республике Таджикистан», (Душанбе, 2016); VIII Межд. научн.-практ. конф. «Перспективы развития науки и образования (Душанбе, 2016); XIII Нумановских чтениях «Достижения химической науки за 25 лет Государственной Независимости РТ» (Душанбе, 2016); Межд. научн. конф. «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий», (Душанбе, 2017); Межд. научн.-практ. конф. «Перспективы использования материалов, устойчивых к коррозии, в промышленности РТ» (Душанбе, 2018); IV Междун. научн. конф. «Вопросы физической и координационной химии», (Душанбе, 2019); XV Нумановских чтениях «Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан» (Душанбе, 2019).

Вклад автора заключается в постановке задачи исследования, анализе литературного обзора по диссертации, определении методов решения поставленных задач и обработке экспериментальных данных.

Объем диссертации. Диссертационная работа состоит из трёх глав, включает введение, литературный обзор, представляет собой рукопись, изложенную на 147 страницах компьютерного набора, включает 43 рисунков, 24 таблиц и 142 литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, отражена научная и практическая ее значимость.

В первой главе на основе имеющихся в литературе данных рассматриваются вопросы необходимости переработки

низкокачественных алюмосиликатных руд, пути и способы переработки алюмосиликатного сырья с получением полезных компонентов. На основании этого намечены направления собственных исследований.

Во второй главе приведены методики физико-химических анализов, определены химические и минералогические составы алюмосиликатных руд, и выявлены с помощью ДТА изменения процессов в составе руды. Приведены результаты термодинамических оценок разложения алюмосиликатных руд серной и соляной кислотой и рассчитан материальный баланс разложения алюмосиликатного сырья с различными минеральными кислотами и смесью $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$.

В третьей главе изучены кислотные и спекательные способы разложения алюмосиликатных руд, изучена кинетика процесса разложения руды при кислотных и спекательных способах переработки, разработаны принципиальные технологические схемы разложения алюмосиликатных руд минеральными кислотами, а также приведена сравнительная оценка разложения алюмосиликатных руд с указанными кислотами.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РУД - АРГИЛЛИТОВ И КАОЛИНОВЫХ ГЛИН МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗИДДЫ И ЧАШМА-САНГ ТАДЖИКИСТАНА И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

1.1. Каолиновые и зелёные глины месторождения Чашма-Санг

Химический и минералогический состав каолиновых и зелёных глин месторождений Чашма-Санг и Зидды приводится в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав аргиллитов месторождений Зидды и Чашма-Санг, каолиновых и зелёных глин Чашма-Санга

Месторождения	Название породы	Содержание компонентов, мас%															
		Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Ti	Pb	Ba	Cu	Cr	Ni	V	Zn	П.п.п
Зидды	Аргиллит	19.75	4.99	60	0.1	1.2	1	1	0.6	-	0.3	0.01	0.03	0.001	0.01	0.3	10
Чашма-Санг	Аргиллит	31.6	8.74	42.86	0.1	2.95	1	1	0.6	0.001	0.3	0.01	0.03	0.003	0.01	0.6	10.5
Чашма-Санг	Каолиновая глина	24.8	10.98	49.9	0.3	2.65	1	1.1	1.8	-	-	0.01	-	-	0.01	0.01	6.3
Чашма-Санг	Зелёная глина	20.38	11.97	51.3	1	2.45	0.5	1	1.8	-	0.3	0.03	0.003	-	0.01	0.03	8.4

Таблица 2

Минералогический состав аргиллитов месторождений Зидды и Чашма-Санг, каолиновых и зелёных глин Чашма-Санга

Место-рождения	Название породы	Минералогический состав					
Зидды	Аргиллит	Каолинит	Гематит	-	Кварц	Монт-морил-лонит	Иллит
Чашма-Санг	Аргиллит	Каолинит	Гематит	-	Кварц	Монт-морил-лонит	-
Чашма-Санг	Зелёная глина	Каолинит	Гематит	Гётит	Кварц	Монт-морил-лонит	Иллит
Формулы минералов	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	Fe_2O_3	$FeO(OH)$	SiO_2	$M(OH)Si_8Al_4O_{20} \cdot nH_2O$ (M=Na, K, Ca)	$KAl_2(OH)_2[AlSi_3O_{10}] \cdot nH_2O$	$Al(OH)_3$
							$(Na)Al_2(AlSi_3) \cdot O_{10}[(OH)_2 \cdot H_2O]$

На рисунке 1 представлена штрих-диаграмма зелёных глин. Как следует из рисунка 1, в составе зелёных глин имеются кварц, иллит, каолинит, монтмориллонит, гётит и другие минералы.

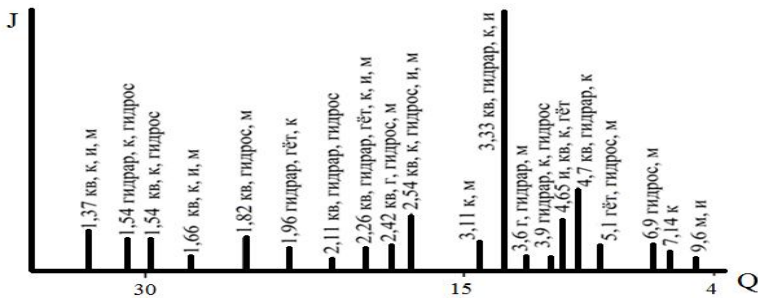


Рисунок 1. Штрих-диаграмма исходной зелёной глины: кв – кварц; к – каолинит; и – иллит; м – монтмориллонит; гёт – гётит; г – гематит; гидрос – гидрослюда; гидрар – гидраргиллит

Дифференциально-термический анализ, проведённый нами на дериватографе Q-1000 системы Паурлик-Эрдей со скоростью нагрева 5°/мин., показал, что наши полученные данные соответствуют данным, приведённым в литературных источниках. Конкретно, на термограмме каолина Чашма-Санг видно проявление эндотермического эффекта, который проявляется в температурном диапазоне 400-700°С. Проявленные эндоэффекты в температурном диапазоне 550-600°С свидетельствуют о том, что в минерале каолините происходят изменения его структуры (рис. 2.).

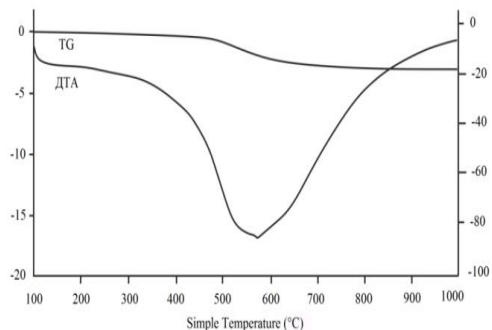


Рисунок 2. Термограмма каолиновой глины Чашма—Санг

Термограмма зелёных глин несколько отличается от термограмм, приведённых в литературе. Здесь наблюдаются эндоэффекты, которые указывают на полиморфные превращения минералов и, видимо, указывает на взаимодействие минералов, которые находятся в составе зелёных глин (рис. 3.).

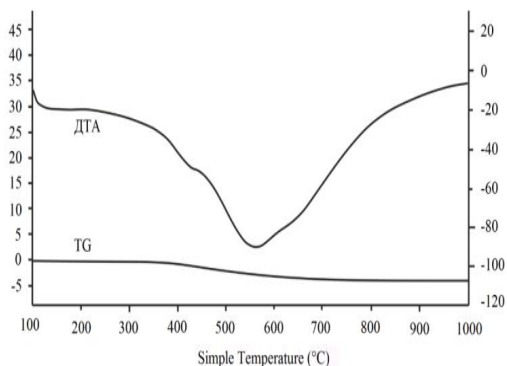


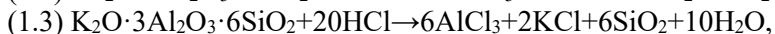
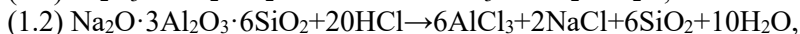
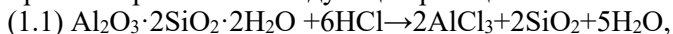
Рисунок 3. Термограмма зелёных глин Чашма-Санг

1.2. Термодинамический анализ процессов при солянокислотном разложении каолиновых глин

В настоящем подразделе дана термодинамическая оценка кислотного разложения каолиновых глин соляной кислотой.

Как известно, каолиновые глины месторождения Чашма-Санг состоят из следующих минералов: каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), гематит (Fe_2O_3), гётит ($\text{FeO}(\text{OH})$), кварц (SiO_2), монтмориллонит ($(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), иллит ($\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$), гидраргиллит ($\text{Al}(\text{OH})_3$), гидрослюда ($3\text{NaAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$).

При взаимодействии соляной кислоты с минералами каолиновых глин вероятно протекание следующих реакций:



Для каждой реакции были рассчитаны термодинамические характеристики.

В таблице 3 и на рисунке 4 приводятся результаты зависимости энергии Гиббса рассматриваемого процесса разложения от повышения температуры, по результатам опытов можно констатировать, что повышение температуры положительно влияет на разложение каолиновых глин соляной кислотой, то есть при увеличении температуры реакции минералов с соляной кислотой протекают значительно быстрее.

Таблица 3

Значения энергии Гиббса (ΔG^0 , кДж/моль) рассматриваемых реакций при различных температурах

Реакции	ΔG^0_{318}	ΔG^0_{338}	ΔG^0_{358}	ΔG^0_{378}	ΔG^0_{398}	ΔG^0_{418}	ΔG^0_{438}
(1.1)	-104.63	-97.2	-89.77	-82.34	-74.9	-64.47	-60.04
(1.2)	324.16	350.9	377.78	404.59	431.4	458.21	485.02
(1.3)	-287.37	-264.88	-242.39	-219.9	-197.4	-174.9	-152.4
(1.4)	-36.65	-27.47	-18.29	-9.12	0.058	9.23	18.41
(1.5)	-33.67	-23.77	-13.87	-3.98	5.91	15.81	2571
(1.6)	-2719.3	-2722.5	-2725.74	-2728.96	-2732.17	-273539	-2738.6

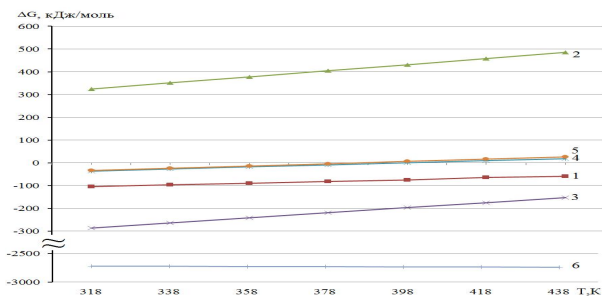


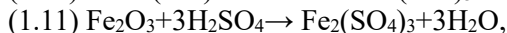
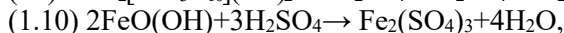
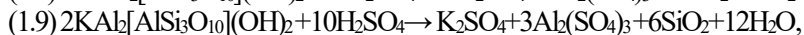
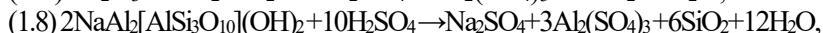
Рисунок 4. Зависимости изменения ΔG от температуры разложения минералов, содержащихся в каолиновых глинах, при разложении соляной кислотой: 1 - каолинит, 2 - гидрослюда, 3 - иллит, 4 –гётит, 5-гематит, 6-гидраргилит

Таким образом, переработка каолиновых глин с соляной кислотой показывает необходимость проведения процесса при температурах 318-438 К с получением полезных компонентов.

1.3. Термодинамическая оценка разложения каолиновых глин Чашма-Сангского месторождения серной кислотой

В настоящем подразделе дана термодинамическая оценка сернокислотного разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санга.

С серной кислотой возможно протекание следующих реакций:



Были рассчитаны величины энергии Гиббса в интервалах температур от 318 до 438 К для каждой реакции (5)–(10) (рис. 5, табл. 4).

Таблица 4

Величины энергии Гиббса в зависимости от различных температур (ΔG , кДж/моль)

Реакции	ΔG^0_{318}	ΔG^0_{338}	ΔG^0_{358}	ΔG^0_{378}	ΔG^0_{398}	ΔG^0_{418}	ΔG^0_{438}
(1.7)	-625.65	-633.37	-641.08	-648.79	-656.51	-664.22	-671.94
(1.8)	-1890.7	-1905.4	-1920.16	-1934.9	-1949.64	-1964.38	-1979.1
(1.9)	-1825.9	-1841.4	-1856.87	-1872.37	-1887.86	-1903.35	-1918.4
(1.10)	-688.42	-705.93	-723.43	-740.94	-758.45	-775.96	-793.46
(1.11)	-128.45	-110.21	-91.97	-73.73	-55.48	-37.24	-19
(1.12)	-977.66	-980.61	-983.56	-986.51	-989.46	-992.42	-995.37

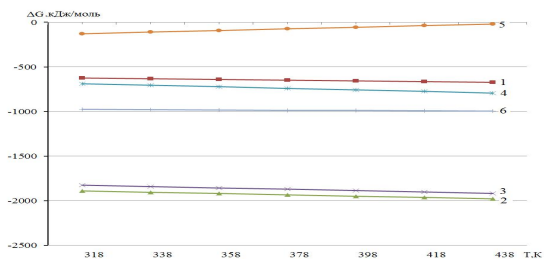


Рисунок 5. Зависимости изменения ΔG от температуры разложения минералов, содержащихся в каолиновых глинах, при разложении серной кислотой: 7 - каолинит, 8 - гидрослюда, 9 - иλλит, 10 - гётит, 11 - гематит, 12 – гидраргиллит

Как видно из таблицы 4 и рисунка 5, одинаковый характер значений ΔG наблюдается для минерала гидраргиллита, незначительные изменения наблюдаются для минералов каолинит, гематит и гётит. Для минералов гидрослюда и иλλита наблюдается уменьшение энергии Гиббса при повышении температуры. Анализ изменения энергии Гиббса от температуры для алюминийсодержащих минералов показал, что термодинамически предпочтительными являются реакции (6) и (7).

2. КИСЛОТНЫЕ И СПЕКАТЕЛЬНЫЕ СПОСОБЫ РАЗЛОЖЕНИЯ АРГИЛЛИТОВ И КАОЛИНОВЫХ ГЛИН МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧАШМА-САНГ И ЗИДДЫ

2.1. Разложение каолиновых глин месторождения Чашма-Санг соляной кислоты.

В данном подразделе изучено солянокислотное разложение каолиновых глин месторождения Чашма-Санг.

На рисунке 6 приведена зависимость степени извлечения Al_2O_3 и Fe_2O_3 от температуры (а), продолжительности процесса (б) и концентрации соляной кислоты (в).

Соответственно, проведённых опытов были определены следующие оптимальные параметры по солянокислотному разложению каолинового сырья Чашма–Санг: температура разложения $95^{\circ}C$, время разложения 60 минут, *HCl* концентрацией 20%, соблюдение данных параметров позволяет извлекать максимальные содержания оксидов из каолиновой глины - Al_2O_3 – 22.0% и Fe_2O_3 – 40.0%.

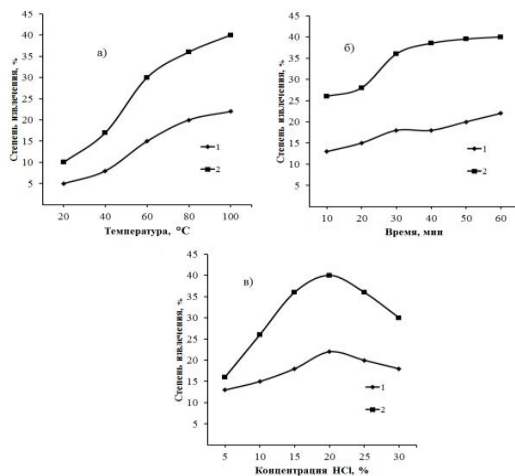


Рисунок 6. Зависимость степени извлечения Al_2O_3 (1) и Fe_2O_3 (2) от: температуры (а), продолжительности процесса (б) и концентрации HCl (в) при солянокислотном разложении каолиновых глин месторождения Чашма-Санг

2.2. Кинетика солянокислотного разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Республики Таджикистан

Характер кинетических кривых (рисунок 7а) разложения каолиновой глины соляной кислотой при извлечении в раствор оксида железа указывает на то, что разложение каолиновой глины при температуре 98°C и продолжительности 1 час протекает очень быстро, достигая 38-40%.

Константы скорости разложения каолиновой глины рассчитывали, используя кинетическое уравнение первого порядка.

Изменение константы скорости разложения каолиновой глины соляной кислотой от температуры процесса подчиняется закону Аррениуса, что подтверждается линиями, которые преломляются между 40 и 60°C при зависимости $\lg K_{\text{cp}}$ от $1/T \cdot 10^3$ (рис. 7в).

Кажущуюся энергию активации процесса разложения каолиновой глины соляной кислотой рассчитывали по уравнению Аррениуса, которая при температурах от 20 до 40°C составила 33.56 кДж/моль. Численное значение энергии активации свидетельствует о протекании процесса в смешанной области, при температурах $60-98^\circ\text{C}$ составило 17.14 кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса в диффузионной области.

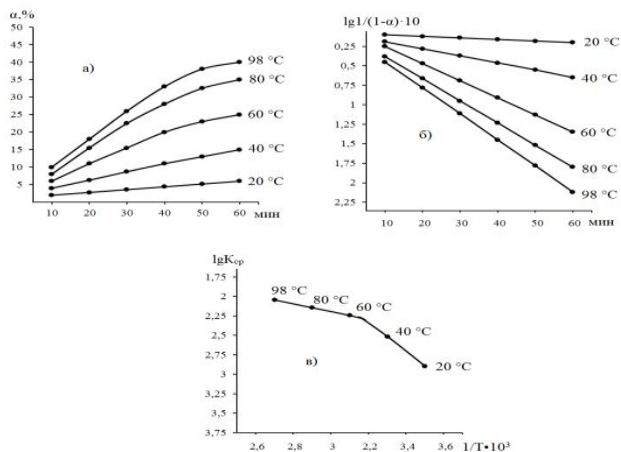


Рисунок 7. Зависимость степени извлечения Fe₂O₃ от: продолжительности процесса разложения (а), зависимости $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени (б) и зависимости $\lg K_{cp}$ от обратной абсолютной температуры $1/T \cdot 10^3$ (в) при извлечении Fe₂O₃ в раствор в результате обработки 20% соляной кислотой каолиновой глины месторождения Чашма-Санг

Характер кинетических кривых (рисунок 8а) разложения каолиновых глин соляной кислотой при извлечении в раствор оксида алюминия указывает на то, что при разложении каолиновой глины при температуре 98 °C в течение 1 часа достигается извлечение Al₂O₃, равное 19.5-22%.

Построенный график зависимости (рис. 8б) $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени представляет собой прямые линии, имеющие наклон 43-45 градусов.

Изменение константы скорости разложения каолиновой глины месторождения Чашма-Санг соляной кислотой от температуры подчиняется закону Аррениуса, что подтверждается прямолинейной зависимостью \lg_{cp} от $1/T \cdot 10^3$ (рис. 8в).

Кажущуюся энергию активации процесса разложения каолиновой глины соляной кислотой рассчитывали по уравнению Аррениуса, которая при температурах 20-60 °C составила 33.84 кДж/моль, а при температурах 80-98 °C – 30.36 кДж/моль. Численное значение энергии активации свидетельствует о протекании процесса в смешанной, близкой к диффузионной области.

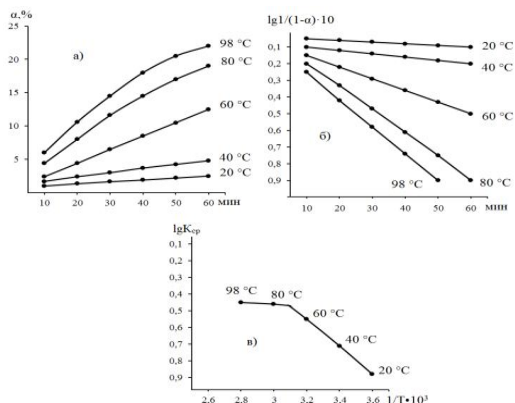


Рисунок 8. Зависимость степени извлечения Al_2O_3 от: продолжительности процесса разложения (а), зависимости $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени (б) и зависимости $\lg K_{\text{cp}}$ от обратной абсолютной температуры $1/T \cdot 10^3$ (в) при извлечении Al_2O_3 в раствор в результате обработки 20% соляной кислотой каолиновой глины месторождения Чашма-Санг Республики Таджикистан

2.3. Разложение нефелин-сиенитов месторождения Турпи смесью минеральных кислот

В работе изучен процесс разложения нефелиновых сиенитов месторождения Турпи смесью минеральных кислот (H_2SO_4 и HNO_3).

На основе оптимальных параметров разработана принципиальная технологическая схема переработки нефелиновых сиенитов смешанными кислотами (рис. 9).



Рисунок 9. Принципиальная технологическая схема переработки нефелиновых сиенитов смешанными кислотами

Исследован степени извлечения Fe_2O_3 и Al_2O_3 в зависимости от температуры, продолжительности процесса и концентрации с минеральных кислот. Рекомендованы следующие условия разложения нефелиновых сиенитов: температура обжига 500°C , температура разложения $90-98^\circ\text{C}$, продолжительность - 60 мин, концентрация серной кислоты H_2SO_4 -50%, азотной кислот HNO_3 -40%, размер частиц 0.1мм. При этих оптимальных условия извлечения Al_2O_3 составляет 46%, и Fe_2O_3 86%.

2.4. Спекание каолиновых глин месторождения Чашма-Санг с хлоридом кальция

Изучены условия спекания каолиновых глин с хлоридом кальция и последующим водным и солянокислотным разложением с получением хлоридов алюминия и железа.

Каолиновую глину спекали при температуре $780-800^\circ\text{C}$ в соотношении CaCl_2 : сырьё = 1:1, размер частиц - 0.1 мм и менее, длительность спекания составила 60 мин.

На рисунке 10 приведена зависимость степени извлечения оксидов Al_2O_3 и Fe_2O_3 от различных физико-химических факторов при солянокислотном разложении спека после водной обработки.

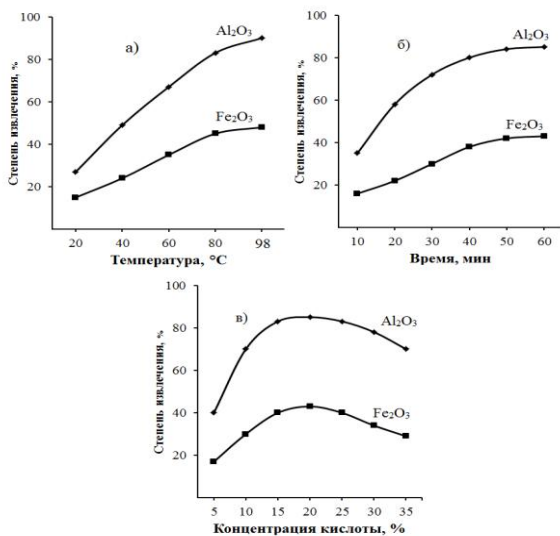


Рисунок 10. Зависимость степени извлечения Al_2O_3 и Fe_2O_3 в раствор от: температуры (а), продолжительности процесса (б) и концентрации HCl (в) при солянокислотном разложении каолиновых глин месторождения Чашма-Санг после спекания с CaCl_2

В результате выполненных исследований можно рекомендовать следующие условия процесса разложения каолиновой глины: температура кислотного разложения – 98°C, продолжительность – 60 мин, концентрация соляной кислоты - 18-20% и размер частиц 0.1 мм. при этих условиях степень извлечения Al_2O_3 составляет 90%, и Fe_2O_3 - 43%.

2.5. Спекание зелёных глин месторождения Чашма-Санг с $CaCl_2$

Изучены условия разложения зелёных глин спеканием с $CaCl_2$. На первой стадии при спекании зелёной глины с хлористым кальцием при температуре 800°C и продолжительности 1 час, с дальнейшим растворением в воде в раствор переходит 10-12% Al_2O_3 , а выделения Fe_2O_3 не происходит. На второй стадии при солянокислотном разложении в раствор переходит от 85 до 87% Al_2O_3 и от 45 до 47% Fe_2O_3 .

Как видно из рисунка 11а, максимальная степень извлечения компонентов достигается при температуре 98°C и составляет: для Al_2O_3 - 87%, для Fe_2O_3 - 47%.

Зависимости степени извлечения оксидов алюминия и железа от продолжительности солянокислотной обработки изучали в интервале 10-60 мин (рис. 11б). Максимальная степень извлечения оксидов достигается при обработке зелёной глины 20% HCl в течение 60 мин.

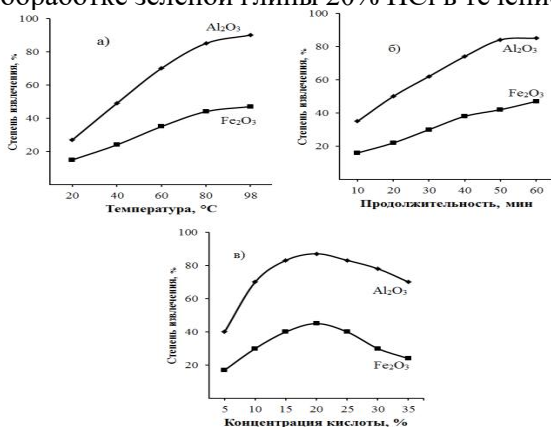


Рисунок 11. Зависимость степени извлечения оксидов алюминия и железа при соляно кислотного разложения спека зелёных глин от: температуры (а), продолжительности процесса (б) и концентрации соляной кислоты (в)

Влияние концентрации HCl на разложение руды изучали в интервале 5-35%, неизменными факторами процесса являлись: температура - 98°C, продолжительность водной обработки в первой стадии - 30-60 мин, во второй стадии при солянокислотной обработке - 60 мин.

Из рисунка 11в, видно, что максимальное извлечение оксидов достигается при обработке руды 20% соляной кислотой.

Таким образом, можно рекомендовать следующие условия разложения зелёной глины месторождения Чашма-Санг: спекание при температуре 800°C, соотношение руды и хлористого кальция = 1:1, продолжительность спекания - 1 час, температура водно- и солянокислотного разложения - 98°C, продолжительность обработки водой 30 мин, а соляной кислотой - 60 мин, концентрация соляной кислоты 20%, размер частиц 0.1 мм. При этих условиях извлечение Al_2O_3 составляет 87%, Fe_2O_3 - 47%.

2.6. Водно-солянокислотное разложение зелёных глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана с предварительным спеканием с гидроксидом натрия

В данном разделе изучены условия разложения зелёных глин путём активации с NaOH.

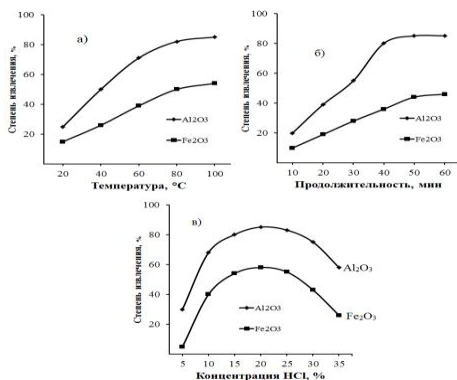


Рисунок 12. Зависимость степени извлечения оксидов алюминия и железа при солянокислотной разложения спека с NaOH от: температуры (а), продолжительности процесса (б) и концентрации соляной кислоты (в) (1 - Al_2O_3 , 2 - Fe_2O_3)

Как видно из рисунка 12а, максимальная степень извлечения компонентов достигается при температуре 98°C и составляет: для Al_2O_3 - 85%, для Fe_2O_3 - 57%.

Зависимости степени извлечения оксидов алюминия и железа от продолжительности солянокислотной обработки изучали в интервале 10-60 мин (рисунок 12б). Максимальная степень извлечения оксидов достигается при обработке зелёной глины 20% HCl в течение 60 мин.

Влияние концентрации HCl на разложение руды изучали в интервале 5-35%. Как видно из рисунка 12в, максимальное извлечение оксидов достигается при обработке руды 20% соляной кислотой.

Таким образом, можно рекомендовать следующие условия разложения зелёной глины месторождения Чашма-Санг: спекание при температуре 800-850°C, соотношение руды и гидроксида натрия = 1:0.75, продолжительность спекания - 1 час, температура водно- и солянокислотного разложения - 98°C, продолжительность обработки водой 50 мин, соляной кислотой - 60 мин, концентрация соляной кислоты 20%, размер частиц 0.1 мм. При этих условиях извлечение Al_2O_3 составляет 85%, Fe_2O_3 - 57%.

2.7. Изучение кинетики разложения зелёных глин соляной кислотой с предварительным спеканием с хлористым кальцием

В настоящем подразделе изучена кинетика разложения зелёных глин соляной кислотой с предварительным спеканием с хлористым кальцием (рис. 13.).

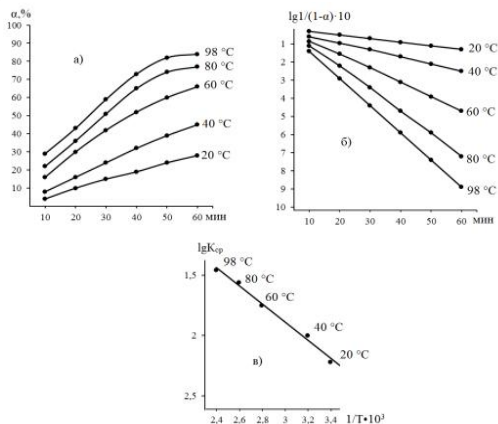


Рисунок 13. Зависимость степени извлечения Al_2O_3 от продолжительности процесса (а), $\lg(1/(1-\alpha)) \cdot 10$ от времени (б) и зависимость

Характер кинетических кривых (рис.13а) разложения зелёных глин соляной кислотой с предварительным спеканием с $CaCl_2$ при извлечении в раствор оксида алюминия указывает на то, что разложение

руды при температуре 98°C и продолжительности 60 мин протекает быстро, и извлечение Al_2O_3 составляет 85-87%.

Скорости разложения зелёных глин рассчитали, используя кинетическое уравнение первого порядка.

lgK_{cp} от обратной абсолютной температуры (v) при извлечении в раствор Al_2O_3 после обработки 20% соляной кислотой зелёной глины месторождения Чашма-Санг с предварительным спеканием с $CaCl_2$.

Кинетические кривые процесса разложения при температуре от 20 до 40°C имеют прямолинейный характер, а выше 60°C – параболический.

При температуре выше 60°C глинозёмсодержащие минералы зелёной глины почти полностью разлагаются.

На графике зависимости $lg1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени (рис.136, 146) полученные кривые имеют отрицательный наклон, равный $-K/2.303$.

Кажущаяся энергия активации (E) и пред экспоненциальный множитель K_0 определяли графическим методом, используя уравнение Аррениуса.

Таким образом, изучена кинетика разложения зелёных глин месторождения Чашма-Санг соляной кислотой с предварительным спеканием с хлористым кальцием, найдена энергия активации процесса, которая для Al_2O_3 составила 21.0 кДж/моль, что относится к диффузионной области, а для Fe_2O_3 – 23.12 кДж/моль, что относится к диффузионной, близкой к смешанной области.

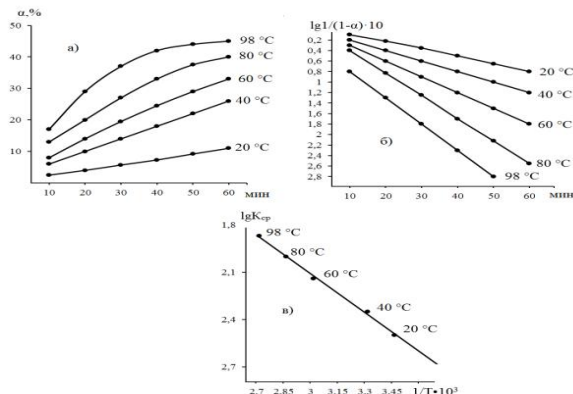


Рисунок 14. Зависимость степени извлечения Fe_2O_3 от продолжительности процесса (а), $lg1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени (б) и зависимость lgK_{cp} от обратной абсолютной температуры (в) при извлечении в раствор Fe_2O_3 после обработки 20% соляной кислотой зелёной глины месторождения Чашма-Санг с предварительным спеканием с $CaCl_2$

В работе изучены фосфорнокислотное разложения аргиллитов месторождения Чашма-Санг. Исследовано влияния температуры, продолжительности процессия и концентрация H_3PO_4 на степен извлечения полезных компонентов. Рекомендован следующий условия разложения аргиллитов фосфорной кислотой: температура обжига $600^{\circ}C$ в течени 60 мин, температура кислотного разложения $95-98^{\circ}C$, продолжительность 60 мин, концентрация кислоты H_3PO_4 -30% и крупность частица 0.1мм. При этом степень извлечения составляет Al_2O_3 -92% и Fe_2O_3 -48%.

2.8. Получение жидкого стекла из алюмосиликатных руд Таджикистана

В работе также показан получения жидкого стекло из алюмосиликатных руды (рис.15). Сущность изобретения заключается в том, что алюмосиликатное сырьё (нефелиновые сиениты, каолиновые глины, аргиллиты) измельчают до размера частиц 0.1 мм и проводят обжиг при температуре от 700 до $900^{\circ}C$ в течение 60 минут. Полученную шихту для удаления соединений алюминий и железа подвергают кислотному разложению в минеральных кислотах- HCl или H_2SO_4 при температурае $20-100^{\circ}C$ в течение 60 минут.



Рисунок 15. Технологическая схема получения жидкого стекла

Затем пульпу фильтруют, и оставшийся осадок сушат при температуре $150-200^{\circ}C$. Кремнезёмный осадок, образующийся при разложении алюмосиликатов минеральными кислотами, содержит аморфный кремнезём, массовая доля которого в сухом веществе кремнезёмного осадка составляет не менее 70%, и минералы, нерастворимые в минеральных кислотах

Кремнезёмный осадок является полидисперсным продуктом, состоит из тонкодисперсных частиц аморфного кремнезёма, размер которых не превышает 70 мкм, и более грубодисперсных частиц минералов, размер которых может достигать 300 мкм. Кремнезёмный осадок после сушки смешивают с карбонатом натрия Na_2CO_3 , помещая в печи и спекают при температуре 1000-1300°C и получают «стеклянную глыбу» состава: SiO_2 -73-76%, Na_2O -20-23%, или K_2O -22-23%. Затем «стеклянную глыбу» растворяют в автоклаве в присутствии водяного пара при температуре 200°C и получают жидкое стекло.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одним из путей обеспечения металлургической, химической промышленности и сельского хозяйства Таджикистана сырьём является комплексная переработка алюмосиликатных руд страны с получением глинозёма, соединений железа и минеральные удобрения. Алюмосиликатные руды в Таджикистане имеются в достаточном количестве. Нефелиновые сиениты, каолиновые глины, сиаллиты, аргиллиты и ряд других руд Таджикистана являются основой для их комплексной переработки. Эти алюмосиликаты, несмотря на пониженное содержание глинозёма (20-30%), содержат другие полезные компоненты, из которых в зависимости от метода переработки можно наряду с Al_2O_3 получать поташ, строительные материалы, коагулянты, жидкое стекло, минеральные удобрения и др.

Использование минеральных кислот выгодно тем, что в процессе разложения получают соединения алюминия и железа, которые используются в различных областях медицины, химии и сельского хозяйства.

При солянокислотном разложении каолиновых глин месторождения Чашма-Санг найдены оптимальные параметры процесса: концентрация HCl - 20%, температура 95°C, время - 60мин. При таких условиях степень извлечения Al_2O_3 составляет – 22%, Fe_2O_3 – 40%.

Изучена кинетика солянокислотного разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санг. Энергия активации процесса разложения каолиновых глин соляной кислотой рассчитана по уравнению Аррениуса и составляет 30.36 кДж/моль, что указывает, что процесс протекает в смешанной области.

В третьей главе диссертации изучено также кислотное разложение нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана смесью минеральных кислот и рекомендованы следующие условия разложения: температура обжига - 500°C, температура кислотного разложения 98°C, время 60 мин, концентрация H_2SO_4 -50%, HNO_3 - 40%.

В работе дана оценка процесса разложения аргиллитов месторождения Чашма-Санг минеральными кислотами, влияние технологических параметров на степени извлечения полезных компонентов из алюмосиликатных руд, влияние продолжительности процесса и концентрации минеральных кислот на степень извлечения глинозёма из каолиновых глин месторождения Чашма-Санг в сравнении с другими алюмосиликатными рудами, влияние температурного режима на степень извлечения глинозёма из алюмосиликатных руд Таджикистана.

ВЫВОДЫ

1. Физико-химическими методами изучены характеристики алюмосиликатного сырья Таджикистана: аргиллитового сырья, нефелин-сиенитового сырья и каолинов с определением их химико-минералогических составов.

2. Проведена термодинамическая оценка для кислотной переработки алюмосиликатного сырья при разложении некоторыми кислотами - HCl , HNO_3 , H_2SO_4 и H_3PO_4 . Установлены химические реакции протекающих процессов и получены конечные полезные соединения.

3. Проведено солянокислотное разложение каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана и найдены оптимальные условия разложения сырья: температура от 500 до 600°C; длительность разложения 1,5 часа при 95-98°C; размер частиц «-0.1 мм» и концентрация HCl 20%.

4. Изучены кинетические процессы разложения каолиновых глин, показано, что кажущаяся энергия активации процесса при температурах 20-60°C составила 33.84 кДж/моль, а при температурах 80-98°C - 30,36 кДж/моль. Численное значение энергии активации свидетельствует о протекании процесса в смешанной, близкой к диффузионной области.

5. Исследовано кислотное разложение нефелин-сиенитового сырья месторождения Турпи с участием смеси серной и азотной кислот. Для данного кислотного разложения указанного сырья проведено определение оптимальных параметров: обжиг нефелин-сиенитового сырья при 500°C; кислотное разложение смесью ($H_2SO_4 + HNO_3$) при 90-98°C в течение 60 минут; кислоты необходимо использовать в концентрациях ($H_2SO_4 - 50\%$, $HNO_3 - 40\%$), размер частиц нефелин-сиенита < 0.1 мм. При соблюдении этих параметров извлечения ценных соединений достигаются максимальными: $Al_2O_3 - 46\%$, $Fe_2O_3 - 86\%$.

6. Изучено влияние различные физикохимических параметров на извлечение полезных соединений из алюмосиликатных руд.

Найдены оптимальные параметры проведения процесса разложения. Солянокислотное разложение: разложение при температуре 80 – 90°С в течение 60 минут, *HCl* с концентрацией 20%. При указанных оптимальных параметрах достигаются следующие максимальные извлечения: Al_2O_3 – 96.0%, Fe_2O_3 – 63.0%; азотнокислотное разложение: разложение при 98°С в течение 60 минут, *HNO₃* с концентрацией 45%. При соблюдении этих параметров извлечения составляют: Al_2O_3 – 97.2%, Fe_2O_3 – 66.5%; сернокислотное разложение: разложение при 98°С в течение 60 минут, *H₂SO₄* с концентрацией 40 – 60%. При соблюдении этих параметров извлечения составляют: Al_2O_3 – 95.0%, Fe_2O_3 – 63.0%; фосфорнокислотное: разложение при 98°С в течение 60 минут, *H₃PO₄* с концентрацией 30%. При соблюдении этих параметров извлечения составляют: Al_2O_3 – 92.0%, Fe_2O_3 – 48.0%.

7. Изучено спекание каолиновой глины месторождения Чашма – Санг с $CaCl_2$ и $NaOH$ с последующим кислотным разложением. По результатам спекательного способа разложения каолиновой глины с реагентом-активатором хлоридом кальция ($CaCl_2$) и последующей водной и солянокислотной переработкой спёка для данного процесса рекомендованы оптимальные условия, при соблюдении которых будут достигаться максимальные извлечения оксидов Al_2O_3 и Fe_2O_3 : кислотное разложение в течение 60 минут при 98°С, концентрация *HCl* не более 18-20%, размер частиц каолина <0.1 мм.

8. Разработана базовая технологическая схема переработана алюмосиликатных руд минеральными кислотами и смесью кислотами H_2SO_4 и HNO_3 . Схема следующий стадии: измельчения обжиг, процесс разложения при 95-98°С, фильтрация, разделены солей железа и алюминия.

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- полученные дани по энергия Гиббса, кинетика также термодинамические характеристика разложены алюмосиликатные сырьё могут быт использование специалистам в области физических химии для получения соединений алюминия и железа;

- численные значение термодинамические характеристики реакция разложение алюмосиликатные сырьё по полнят справочные дани и будут использованы при написаны учебных пособие и книг по переработки минерального сырьё ;

-продукты фосфорнокислотного разложения алюмосиликатных руд рекомендованы для использования в сельском хозяйстве как комплексное удобрение.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации:

1. Каюмов, А.М. Влияние температурного режима на степень извлечения глинозема из алюмосиликатных руд Таджикистана / Каюмов А.М., **Гафорзода С. М.**, Мисратов Ж, Мирсаидов У.М // Доклады АН РТ Том 58, №12 Душанбе – 2015.-С.1124-1127.

2. Каюмов, А.М Влияние продолжительности процесса и концентрации минеральных кислот на степень извлечения глинозема из алюмосиликатных руд. / Каюмов А.М, **Гафорзода С. М.**, Аъзамов Ш. О., // Доклады АН РТ Том 59, №3 - 4 Душанбе – 2016. –С.146-150.

3. Мирзоев, Д.Х. Фосфорнокислотное разложение аргиллитов месторождения Чашма-Санг./ Д.Х.Мирзоев, Аъзамов Ш. О, **Гафорзода С. М.**, Бахронов С.А., Мирсаидов У.М. // Известия АН РТ №3 (164) Душанбе – 2016.-С.74-78.

4. Мирзоев, Д.Х. Кинетика солянокислотного разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Республики Таджикистан / Д.Х. Мирзоев, Ш.Д. Отаев, М.М. Худойкулов, **С.М. Гафорзода**, У.М. Мирсаидов // Доклады АН РТ ,Том 60,№3-4., Душанбе-2017.-С.164-167.

5. Джамолов, Н.М. Кинетические аспекты разложения алюмосиликатных руд Таджикистана минеральными кислотами / Н.М. Джамолов., Д.Х. Мирзоев, М.М. Тагоев, **С.М. Гафорзода**, // Доклады НАН РТ Том 64,№7-8, Душанбе-2021.-С.438-441.

6. **Гафорзода, С.М.** Термодинамический анализ протекающих процессов при разложении каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана соляной кислотой./ **С.М. Гафорзода**, Д.Х. Мирзоев, Д.О. Давлатов, Н.М. Джамолов, У.М. Мирсаидов. // Доклады НАН РТ., Том 65, №1-2, Душанбе-2022. –С.88-91.

7. Отаев, Ш.Д. Сравнительная оценка получения глинозёма и оксида железа из алюмосиликатных руд спеканием с CaCl_2 / Ш.Д.Отаев, **С.М. Гафорзода**, Н.М. Джамолов, Д.Х. Мирзоев, А.М. Каюмов., // Доклады НАН РТ Том 65,№9-10 Душанбе-2022. –С.634-637.

Изобретения по теме диссертации

8. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1145. Способ получения жидкого стекла из алюмосиликатных руд / **Гафорзода С.М.**, Д.Х. Мирзоев, Ж.А. Мисратов, А.М. Каюмов, Д.О. Давлатов, Н.М. Джамолов, К.М. Назаров, О.А. Азизов, У.М. Мирсаидов.-Заявка №2001479.-Заявл. 13.02.2020; Зарег.14.04.2021г.

9. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1489. Способ получения смешнного коагулянта из низкокачественного глинозёмсодержащего сырья / **Гафорзода С.М.**, Исоев А.М., Мирзоев

Д.Х., Холматов Т.Б., Неъматуллоев К.И., Рахимов И.М., Тагоев М.М., Мирсаидов У.М.- Заявка № 2301883.- - Заявл. 02.10.2023; Зарег. 16.04.2024 г.

Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций, симпозиумах, формулах и семинарах:

10. Мирзоев, Д.Х. Разработка технологии переработки каолиновых глин месторождения Чашма- Санг / Мирзоев Д.Х., Худойкулов М. М, Аъзамов Ш.О, **Гафорзода С.М**, Мисратов Ж, Мирсаидов У.М // Материалы межд. научн. конф. «Роль молодых ученых в развитии науки, инновации технологии», посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан 19- 20 мая 2016. –С.152-155.

11 Мирзоев, Д.Х. Солянокислотное разложение каолиновых глин месторождения Чашма- Санг / Мирзоев Д.Х, Худойкулов М.М, Аъзамов Ш.О, **Гафорзода С. М**, Мирсаидов У.М //Материалы Всероссийской научно практической конференции «Проблемы материаловедения в Республике Таджикистан» -Душанбе, 2016.-С.118-120.

12.Аъзамов, Ш.О. Хлорное и кислотное разложение алюмосиликатных руд Таджикистана / Аъзамов Ш. О, **Гафорзода С.М**, Бахронов С.А, Мирсаидов У.М // Материалы VIII, Международной научно – практической конференции «Перспективы развития науки и образования», посвященной 25 – летию Государственной независимости Республики Таджикистан и 60 – летию ТТУ имени академика М.С.Осими часть 2 Душанбе 2016. –С.34-35.

13. Аъзамов, Ш. О. Переработка аргиллитов месторождения Чашма – Санг минеральными кислотами / Аъзамов Ш.О, **Гафорзода С.М.**, Бахронов С.А, Мирсаидов, У.М // Сборник материалов XIII Нумановские чтения. Достижения химической науки за 25 лет Государственной независимости Республики Таджикистан и посвященной 70 – летию образования института химии им В.И.Никитина академии наук РТ. Душанбе 23 –ноября 2016.-С.87-90.

14.Мирзоев, Д.Х. Выщелачивание каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Республики Таджикистан уксусной кислотой / Мирзоев Д.Х, Аъзамов Ш.О, Отаев Ш.Д, **Гафорзода С.М** // Материалы второй международной научно-практической конференции «Роль молодых ученых в развитии науки инновации и технологий» Душанбе -2017.-С.40-43.

15. Отаев, Ш.Д. Разложение аргиллитов фосфорной кислотой / Отаев Ш.Д, Аъзамов Ш.О, **Гафорзода С.М**, Мирзоев Д.Х. // Материалы второй межд. науч.-практ. конференции «Роль молодых ученых в развитии науки инновации и технологий» Душанбе – 2017.-С.75-76.

16. Мирзоев, Д.Х. Кинетика фосфорнокислотного разложения аргиллитов месторождения Чашма-Санг Республики Таджикистан / Д.Х.Мирзоев, Ш.Д.Отаев, **Гаффорзода С.М.**, Д.Х.Мирзоева // Сборник материалов XIV Нумановские чтения вклад молодых в развитие химической науки посвящённые «Году молодежи» Душанбе 22-ноября 2017.-С.70-72.

17.Отаев, Ш.Д. Оценка процесса разложения аргиллитов месторождения Чашма-Санг минеральными кислотами / Ш.Д. Отаев, **С.М. Гаффорзода**, Ш.О. Аъзамов, Д.Х. Мирзоев // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан» г. Душанбе 28-мая 2018.-С.24-26.

18.Каюмов, А.М.. Физико-химические основы разложения низкокачественных алюмосодержащих руд минеральными кислотами / А.М. Каюмов, Д.Х. Мирзоев, Ш.Д. Отаев, **С.М. Гаффорзода** // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности РТ» г. Душанбе 28-мая 2018. –С.26-28.

19. Мирзоев, Д.Х. Оценка процесса разложения каолиновых глин минеральными кислотами и уксусной кислотой / Д.Х. Мирзоев, Ш.Д. Отаев, **С.М. Гаффорзода**, Ш.О. Аъзамов // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан».г. Душанбе 28-мая 2018. –С.126-128.

20. Мирзоев, Д.Х. Спекание каолиновых глин с хлоридом кальция / Д.Х. Мирзоев, **С.М. Гаффорзода**, Ш.Д. Отаев, Ш.О. Аъзамов, С.Д. Махмаднабиев // Сборник материалов XV Нуъмановское чтение “Современное состояние химической науки и использование ее достижений в народном хозяйстве РТ” 24 октября 2019.-С.22-24.

21. Мирзоев, Д.Х. Кинетика разложения зеленых глин соляной кислотой с предварительным спеканием с хлористым кальцием / Д.Х. Мирзоев, **С.М. Гаффорзода**, Ш.Д. Отаев, Ш.О. Аъзамов, А.М. Каюмов // Сборник материалов XV Нуъмановское чтение “Современное состояние химической науки и использование ее достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан” 24 октября 2019.-С.24-26.

22. Мирзоев, Д.Х. Кислотное разложения нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана смесью минеральных кислот / Д.Х. Мирзоев, Н.М. Джамолов, **С.М. Гаффорзода**, И.М. Рахимов, У.М.Мирсаидов // XVIII Нумановские чтения «Развитие современной химии и её теоретические и практические аспекты»18 октября 2023г. г.Душанбе-С.35-39.